

中国降水集中期之特征^{*1}

汪卫平¹ 张祖强² 许遐祯¹ 项 瑛¹WANG Weiping¹ ZHANG Zuqiang² XU Xiazhen¹ XIANG Ying¹

1. 江苏省气候中心, 南京, 210009

2. 国家气候中心, 北京, 100081

1. *Jiangsu Climate Center, Nanjing 210009, China*2. *National Climate Center, Beijing 100081, China*

2015-03-12 收稿, 2015-07-24 改回.

汪卫平, 张祖强, 许遐祯, 项瑛. 2015. 中国降水集中期之特征. 气象学报, 73(6):1052-1065

Wang Weiping, Zhang Zuqiang, Xu Xiazhen, Xiang Ying. 2015. Characteristics of the precipitation concentration period in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 73 (6):1052-1065

Abstract Using the diurnal precipitation data sets of 2474 stations from 1961 to 2013 and the relevant NCEP/NCAR reanalyses data, the precipitation concentration period (PCP) is firstly defined as the shortest time, during which the precipitation accounts for 45% of the total amounts from May to August, with 40% from May to September for the Hetao region and the central Sichuan basin. The precipitation concentration period's climatic state and variation characteristics were discussed. It is found that: (1) PCP occurs earliest to the north of South China but latest in the Hetao region and the Sichuan Basin. (2) PCP ends earliest in South China and a larger part the area south of the Yangtze River, but latest in the Hetao region, the Sichuan basin and southern Tibet. (3) PCP can last 7 to 40 d, the shortest with 7 to 10 d is in desert of West China and the longest with 30 to 40 d in Southwest China. (4) PCP of China occurs with the Somali jet bursting out, and expands with the western Pacific subtropical high developing. And, (5) every regional precipitation during PCP has distinct regional characteristics, and it is prominent that the precipitation is lesser in 1980s, but more in 1990s in the areas north of South China and south of the Yangtze River.

Key words Precipitation concentration period, Climatic characteristics, Circulation, Decadal variation

摘 要 使用中国国家气象信息中心整编的全中国 2474 个观测站 1961—2013 年逐日降水观测资料、美国国家环境预报中心 (NCEP) 和美国国家大气研究中心 (NCAR) 制作的 1979—2013 年逐日 850 hPa 风、温度、相对湿度场和 500 hPa 高度场。定义每站 5—8 月总降水量的 45% (河套地区和四川盆地中部为 5—9 月总降水量的 40%) 出现的最短时段为该站降水集中期, 采用气候统计、气候分析方法和清晰的站点绘图方式研究了中国降水集中期雨量、起止日等时空特点和变化特征。结果表明, 中国降水集中期起止时间并非简单的南北、东西向推进, 而是最早始于江南华南交界, 最晚始于河套地区和四川盆地; 最早结束于华南北部和江南大部分地区, 最晚结束于河套地区、四川盆地、西藏南部。东北、西北大部分地区的降水集中期早于华北和河套地区。降水集中期以西部沙漠戈壁地区的 7—10 d 最短, 西南地区的 30—40 d 最长。来自索马里急流的西南水汽支和西太平洋副热带高压西侧的东南水汽支是集中期降水的主要水汽源, 中国中东部降水峰值随两支气流的推进而推进。集中期雨量的主要区域特点为: 四川盆地雨量在 20 世纪 80 年代以后趋势性减少, 近年开始回升; 云南自 2003 年起, 除 2008 年以外降水持续偏少。华南北部和江南 20 世纪 80 年代的持续少雨和 90 年代的持续多雨最显著, 多雨期降水集中期起止时间推

* 资助课题: 国家重点基础研究发展计划项目 (2013CB430206)、公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY200806004)、江苏省气象局科研基金项目 (KZ201505)。

作者简介: 汪卫平, 主要从事短期气候预测和气候变化研究。E-mail: smile_wp@163.com

通讯作者: 张祖强, 主要从事全球气候变化研究。E-mail: zhangzq@cma.gov.cn

迟,导致长江中下游降水峰值易与上游来水的峰值相遇,这是长江中下游 20 世纪 90 年代至 21 世纪初洪涝频发的主要原因之一。

关键词 降水集中期,气候特征,环流,年代际变化

中图法分类号 P426.6

1 引言

雨季和汛期是降水集中期的普遍提法。早在 20 世纪 30、40 年代,竺可桢(1934)和涂长望等(1944)就指出 5—8 月自南海夏季风爆发后雨带的进退,形成中国具有明显阶段性的雨季特征:5 月中旬最早在华南爆发,雨量迅速增大,为华南前汛期盛期;6 月中旬—7 月上旬停滞在长江中下游,称为梅雨季;7 月中旬—8 月中旬主要季节雨带北跳至华北、东北一带,称为华北雨季。

雨季划分主要有 3 类:第 1 类是利用经验正交函数分解(EOF)或旋转经验正交函数分解(REOF)对中国或局部的降水量进行分解(孙力等,2000;覃军等,2005),划分出主要雨型。第 2 类是指标站法(赵汉光,1994;Samel, et al,1995;王学忠等,2006;吴志伟等,2006)。第 3 类是用雨量对雨季进行定量分析,有降水相对系数法(王恒康等,1982;徐国昌等,1983;孙欣等,2007)及其他定量分析方法,如:将气候平均候雨量 5 mm 定义为东亚季风雨季的起讫标准(Lau, et al,1996),用相对候平均降水率(Wang, et al,2002)、Samel 半客观分析方法(Samel, et al,1999)或者标准化气候候雨量划分中国雨季(王遵娅等,2008)。还有结合雨量、雨强及多种大气环流因子,确定雨季起止时间的多要素综合指标(尤丽钰等,1981;郑彬等,2006;葛全胜等,2011;黄彩婷,2012)。

以相对降水量定义雨季也在许多研究中被采用。例如,以旬雨量超过全年降水量 3%(林之光,1985),旬雨量大于 4%(张家诚,1991),连续 3 候的降水量总和不小于多年候平均值的 3 倍(郭其蕴等,1981),或站点日降水量超过年平均日降水量的 15%(覃军等,2005)来判定雨季起止日期。还有的不仅考虑了降水量要满足的指标,还要求达到降水指标的站点满足一定的比例(覃武等,1994;强学民等,2008;晏红明等,2013)。

根据不同划分方法,雨季从 20 d 至 5 个月不等,起止时间也不同。例如覃军等(2005)得到中国

东部 3 个雨带雨季开始日,分别在 5 月中旬、6 月下旬、7 月中下旬;覃武等(1994)、郭其蕴等(1981)和强学民等(2008)得到的华南雨季开始大多在 4 月,少数在 3 月和 5 月,结束一般在 6 月初,持续两个月左右;苗长明等(2013)得到的江南南部初夏雨季为 6 月 10 日—7 月 1 日,持续约 20 d;晏红明等(2013)的西南雨季为 5 月第 3 候—10 月第 3 候,长达 5 个月;刘海文等(2008)得到的华北汛期为 6 月 30 日—8 月 18 日,持续 50 d,而赵汉光(1994)得到的则为 7 月中旬—8 月中旬,持续 30 d。王遵娅等(2008)得到的江南春雨、华南前汛期、江淮梅雨期、华南后汛期和华西秋雨期持续 25—35 d。

雨季的空间划分重点在东部,以华南、长江中下游和华北 3 个区域为代表,近年来注意到江南、黄淮等区域降水的独立性,提出了更细的划分。黄荣辉等(1999)根据地理环境和气候特征将中国划分成 7 个区域。黄琰等(2014)根据中国候降水量的气候平均值分布,基于有序样本最优分割法的划分结果将中国区域雨季定量划分为 13 个区域。基于夏季降水空间差异,中国可划分为 21 个区(Jin, et al,2015)。江淮梅雨的暴雨和梅雨量都存在南北差异,江南与淮河流域成反位相关系(毛文书等,2006,2008;竺夏英等,2007)。淮北雨季相对于江淮梅雨和华北雨季而独立存在(吕军,2012)。根据 6—8 月降水的空间分布,华东可分为 5 个区,即 I 区闽赣、II 区江南、III 区长江中下游、IV 区江淮和 V 区黄淮(金大超等,2010)。苗长明等(2013)认为,江南南部初夏降水具有季节内相对独立的降水集中期。由此可见,雨季有显著的时间进程,研究区域多在中国东部。降水集中期在短时期内出现大量降水,旱涝分布(钱永甫等,2007)、梅雨带北移(胡娅敏等,2009;Si, et al,2009)和梅雨量变化(徐群等,2007;胡娅敏等,2008,2010)及降水年代际变化(杨修群等,2005;黄荣辉等,2013)和旱涝急转等问题的核心是强降水在空间和时间上的分布和变化。降水集中期是一个地方降水最强的时期,也是一个地方能承载和利用最多降水量的时期,其雨量、雨强和时间、空

间的分布直接主导了旱涝、雨型、雨带及降水量的年际、年代际变化,对于当地城市建设、水利设施规划、农业生产等都十分重要,也是环流调整、气候变化最直接的体现。中国江河密布,降水集中期出现时段在上下游的空间配置对江河下游的洪涝影响是直接和明显的。在科研和业务中,降水异常的时空分布,雨带位置等多以6—8月降水量为基础,而中国南北跨度大,降水时间跨度长,这样的时间取值不够完善。此外,降水集中期的空间推移和时间演变对于华南、江淮、华北以外的区域同样值得关注。

张录军等(2004)采用向量方法定义的降水集中期和降水集中度的新概念,被应用于中国多个省份的降水集中期和集中度的研究(杨爱萍等,2010;张运福等,2009;张天宇等,2007;邹立尧等,2013),该方法以候为时长,降水集中期时长偏短,占总降水量比重小,集中度为0—1,不便于比较。王琳莉等(2006)对降水日资料进行15 d滑动后,定义研究时段内降水极大日前后7 d共15 d为降水集中期,该降水极大值即为集中期雨量,该方法由于时长固定,对不同性质的降水不便于比较。

王遵娅等(2008)利用气候降水资料研究中国雨季的气候学特征,由于对站点资料做了格点化处理,平滑了一些重要的区域特征差异;雨季仍然保留江南春雨期、华南前汛期、江淮梅雨期等名称,凸出了特定时段出现最强降水的区域,但弱化了当地降水最集中时段的降水特性,例如在江南春雨称谓下,江南降水最集中时段是否为春季?而华西秋雨称谓下,华西地区降水最集中时段是否在秋季?

文中避开多种复杂的雨季定义,仅从降水本身出发,采用相对降水量的定义、清晰的站点绘图方式,对比分析中国2474个站的降水集中期雨量、起止日期的气候特点和变化特征,使中国降水集中期的特征具有可比性,准确反映其空间分布和时间演变。以对中国降水集中期气候状况和变化特点有整体的把握和理解,这对于气候业务、科研工作、气象服务的细化和深入都是必需的。

2 资 料

所用资料为中国国家气象信息中心整编的全中国2474个观测站1961—2013年逐日降水资料。由于建站时间不同,资料长度不一,且存在较多缺测,若当年的研究时段内出现1 d以上缺测,则该站该

年资料不用,若无缺测,则纳入计算年份和站点,最大限度保留了可用站点资料。此外,使用了NCEP和NCAR制作的1979—2013年逐日850 hPa风、温度、相对湿度场和500 hPa高度场,格点精度为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

根据中国降水的峰值特点,5—8月涵盖了中国大部分区域的降水峰值期,以季风降水为主,台风降水次之。中国台风暴雨的雨季为5—11月,7—9月为高峰期(韩晖,2005),中国降水集中期从南向北推迟,7月南方大部分地区的降水集中期结束,7—9月台风高峰期影响主要在南方和沿海,因此,为尽量避开台风降水的影响,单纯从降水本身考虑,对每个站每一年的逐日资料进行7 d滑动平均,定义每个站5—8月总降水的45%出现的最短时段为该站降水集中期。河套地区、四川盆地地处内陆,基本不受台风影响,而降水集中期延伸到9月,作为补充,定义5—9月降水量的40%为这些站的降水集中期。这样的定义下每个站的降水集中期是独立的,同时,由于站点在空间上的联系,相邻站点的降水集中期又相互联系。

之所以取45%为降水集中期阈值,一方面数值过小抓住的可能是最大降水天气过程,另一方面数值过大会涵盖降水较弱时段,出现各区域降水集中期起止日期重叠,可比性差,不能体现出降水集中期随时间在空间上的推移。在季风区和干旱半干旱区选取了8个代表站,对比各站气候态降水时间序列,降水的集中程度北方强于南方,华北是中国东部降水集中程度最高的一个地区(赵汉光,1994),因此,阈值选取上侧重于南方;集中期天数比雨季更短,降水更集中,长江中下游梅雨期平均20—25 d,华南降水峰值较平缓,时间更长,因此集中期时长在30—40 d。

5—8月,平均单月降水量占总降水量的25%,南方降水量百分比最大的月份一般占27%—35%,福建、江西、浙江的部分站点占到40%—50%(图略),由于大部分站点降水集中时段跨月出现,因此,阈值为40%—50%。同时,江淮梅雨占总降水量的38%—40%,梅雨期定义兼顾了西太平洋副热带高压等环流因素,梅雨前后可能存在明显的非梅雨降水,因此取阈值大于40%。综合以上因素,取阈值为45%。

由定义得到每站每年降水集中期的开始、结束

日期、持续天数和降水量,气候态为这些要素1961—2013年的53 a平均值。

3 中国降水集中期的气候特征

3.1 代表站气候态日降水的时间演变

中国降水存在较大的空间差异,选取中国季风区南、中、北6个代表站(广州、武汉、南京、成都、哈尔滨、北京)和干旱、半干旱区2个代表站(兰州、乌

鲁木齐),分析中国气候态降水年内分布特征。

这8个站点的降水都具有明显的单主峰特征(表1,图1),广州在8月10日前后存在次峰值,主要为台风降水,主次峰相差2个月。日平均降水量从南向北递减,南方的4个城市气候日最大降水量9—11 mm,北方的北京和哈尔滨为6—8 mm,西北部的兰州为2.5 mm,而乌鲁木齐仅1.5 mm。

表1 中国代表城市气候降水年内分布特征 Table 1 Some climatic precipitation characteristics of the major cities in China				
城市	降水峰值日	日最大降水量 (mm)	峰值特点	降水谷值
广州	6月10日	11.0	平缓/两个峰值	7月20日
武汉	7月3日	10.0	明显	8月5日
南京	7月5日	9.5	明显	8月5日
成都	7月底8月初	9.0	平缓	无
北京	8月5日	7.5	凸出	无
哈尔滨	7月20日	6.2	凸出	无
兰州	8月15日	2.5	平缓	无
乌鲁木齐	5月初	1.5	平缓	无

降水峰值出现的时间,乌鲁木齐最早,在5月初。其余7个代表站总体表现为由南向北推迟,广州最早,在6月10日前后达到降水主峰值;其后是武汉、南京、成都、哈尔滨、北京;最晚的兰州是8月15日;同时还应注意到,位置最北的哈尔滨,峰值早于北京,这可能与东北冷涡的活动有关。

在降水峰值特征上,广州较平缓,武汉、南京、哈尔滨、北京峰值特征明显,越往北峰值形态越凸出,以北京最凸出。广州、武汉、南京存在次峰值,广州最明显,两峰值之间分别在7月20日(广州)、8月5日(武汉、南京)出现降水谷值。成都、兰州和乌鲁木齐的峰值特征均较平缓,以乌鲁木齐最平缓。

综合而言,从以上8个代表站可见中国降水大致的南北、东西差异:基本呈现单主峰分布;雨量南方多于北方;峰值形态南方较平缓,开始和结束时间普遍早,东北、华北的峰值特征凸出,开始和结束晚。干旱半干旱区的乌鲁木齐降水集中期的特征明显有别于季风区。

3.2 降水集中期属性的空间分布

(1)起止时间:根据定义,各地进入降水集中期的起始时间和范围推进如图2a所示,在中国东、西部先后开始。首先是东部,5月21—31日华南和江南交界一带最先进入降水集中期,以此为中心向外围扩展;5月31日—6月10日,到江南和华南的大部分地区、贵州东部;6月10—20日,扩展到江淮与

江南交界、重庆、四川东部、云贵交界处、东南沿海及海南大部分地区;6月20—30日继续向北、向西推进,至江淮、江汉大部分地区、甘肃南部、四川东部一线及云南的中部和东部、广西的西南、海南部分地方;6月30日—7月10日,黄淮南部、云南西北部 and 南部、内蒙古东部、东北大部分地区进入降水集中期;7月10—25日,最后进入降水集中期的是河套地区、华北、黄淮北部、东北的东南部、西藏的西南部及四川盆地。

在华南和江南交界一带最先进入降水集中期以后,中国西部的新疆博格勒地区和四川中西部也于5月31日—6月20日进入降水集中期;6月20—30日新疆大部分地区、青海开始降水集中期;6月30日—7月10日到新疆东北部、甘肃中西部;7月10—25日,是最晚的河套地区、西藏中南部及四川盆地中部。可以看出,中国西北的大部分地区进入降水集中期的时间早于中国黄淮、华北、东北等地;东北大部分地区早于华北和河套地区。

降水集中期的结束时间(图2b)与开始时间的分布形态大致相似。均为中国中东部有明显的区域分布,而西部区域分布不明显。

(2)持续时间:降水峰值特征越明显降水越集中,集中期的时间越短(图2c),中国降水集中期的持续时间以西北最短(7—16 d),西南最长(30—40 d)。新疆的塔里木盆地和吐鲁番盆地、甘肃酒泉

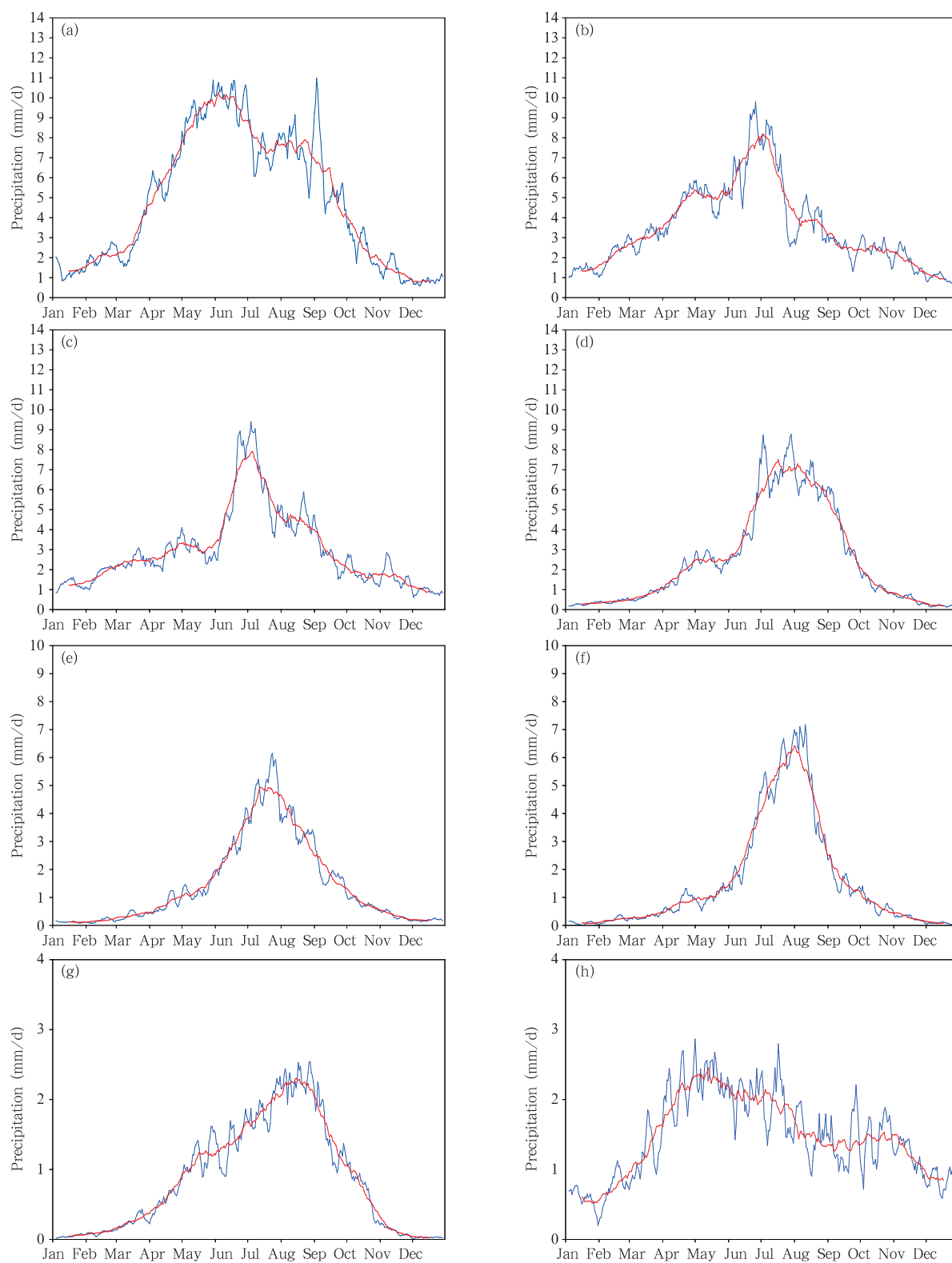


图1 中国代表城市气候态降水时间序列

(a. 广州, b. 武汉, c. 南京, d. 成都, e. 哈尔滨, f. 北京, g. 兰州, h. 乌鲁木齐; 红线为 31 d 滑动平均, 蓝线为 7 d 滑动平均)

Fig. 1 Time series of the climatic diurnal rainfalls in the major cities of China

(a. Guangzhou, b. Wuhan, c. Nanjing, d. Chengdu, e. Harbin, f. Beijing, g. Lanzhou, h. Urumqi;
red line is 31 d moving average, blue line is 7 d moving average)

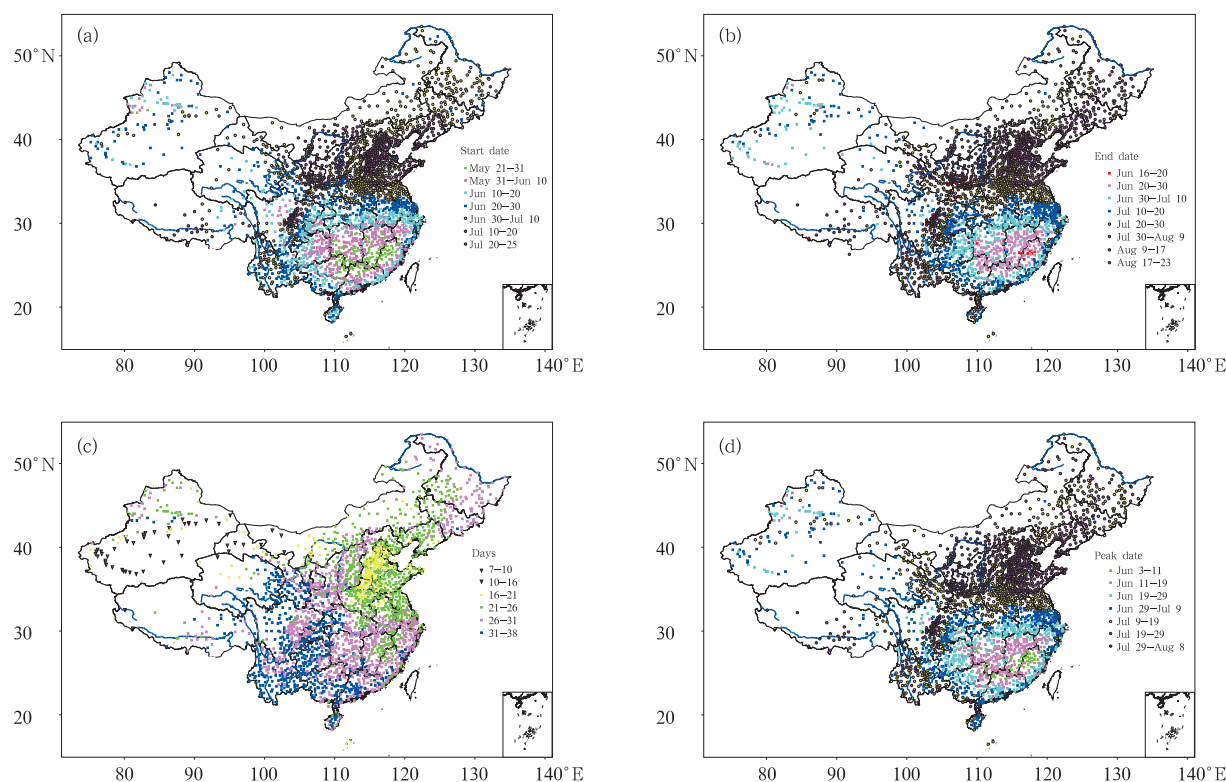


图2 中国降水集中期开始日期(a)、结束日期(b)、持续天数(c)、峰值日期(d)分布

Fig. 2 Characteristic distributions of the precipitation concentration period in China

(a. beginning date, b. termination date, c. persistent days, d. peak date)

地区仅7—16 d,为中国最短。内蒙古西部、甘肃和青海西北部为16—21 d。东部的北京、天津、河西南部、河南东北部也为16—21 d,是中国东部降水集中期日数最少的地区。中国110°E以东除南部沿海外,大都在30 d以下。降水集中期持续时间最长的区域主要在中国西南,分布在青海和西藏的东部、云贵川大部分地区、重庆及广西大部分地区,达31—38 d。

图1h是以乌鲁木齐多年降水平均所得气候态,降水峰值较平缓,集中期天数较长,图2c是逐年所得降水集中期天数再求平均得到的气候态降水集中期天数,时间较短,但更接近实际。

(3)峰值日期:定义降水集中期的开始日加上持续日数一半得到的日期为降水集中期峰值日,其分布与降水集中期开始和结束日期的空间分布类似(图2d)。

3.3 降水集中期雨量分布

中国降水集中期雨量分布(图3)与中国年降水量分布型基本一致,中国一年的降水集中在雨季,雨季的降水又集中在降水集中期,集中期降水的特征

和变化是中国降水特征和变化的关键点。中国降水集中期雨量从南向北减少,整体上从东南沿海向西北呈阶梯状分布,在南方随地理形态存在一定差异。降水最大的是华南和云南的沿海一带,为500—820 mm,最少的是新疆塔里木盆地、吐鲁番盆地、西藏西部、甘肃酒泉地区、内蒙古西部以及青海西北部,为2.4—30 mm。30°N以南存在几个降水相对

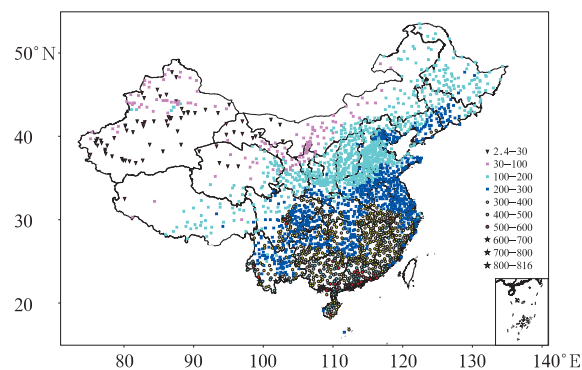


图3 中国降水集中期雨量分布(单位: mm)

Fig. 3 Precipitation distribution during the precipitation concentration period in China (unit: mm)

少的区域:云南东北部、贵州北部到重庆和四川东部、湖南南部至湖北东部一带为 200—300 mm,山东南部、河南南部至上海也为 200—300 mm;再往北,除天津、吉林与辽宁的东南部外,降水明显在 200 mm 以下。

4 降水集中期峰值站点分布与环流特征

根据降水集中期峰值出现的先后顺序(图 2d),从 6 月 3 日至 8 月 8 日,绘制每一旬达到降水峰值的站点分布、对应时段 850 hPa 水汽输送、500 hPa 高度的气候场,以得到水汽和环流对降水的影响,同时,分析每个时段与前一时段水汽输送的差值场,分析其空间和强度的演变。6 月 3 日—8 月 8 日是中国降水最强的阶段,有两条主要的水汽通道,一条来自于印度洋的索马里急流,为西南通道,另一条是来自西太平洋副热带高压外围的水汽输送,为东南通道。

6 月 3—10 日(图 4a、b)降水集中期峰值最先于福建、江西交界一带出现,此时西太平洋副热带高压控制中国南海一带,但 850 hPa 西太平洋上的水汽带位置偏东;索马里急流强中心在 (10°N , 55° — 70°E),较前 10 d 显著增强 $10\text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$,这支气流通过中南半岛到达华南,是主要的水汽源,其前端的水汽辐合区即为降水峰值区。

6 月中旬(图 4c、d)降水峰值区包括了华南和江南大部分地区,西太平洋副热带高压增强,其西侧的水汽通道向西扩展,索马里急流在中国南海转而向北,仍是主要的水汽源。

6 月 21—30 日(图 4e、f),江淮、西南地区东部、华南西部达到降水峰值。大气表现为典型的夏季风环流型。西太平洋副热带高压形态由东北—西南倾斜转为东西向,脊线北抬到 23°N ;索马里急流稳定,不再快速增强,从印度半岛北部到东海出现加强的水汽输送带,西南和东南水汽支汇合,向中国南方输送大量水汽。

7 月上旬,降水集中期峰值在中国南方的外围一圈(图 4g、h)。典型的夏季风环流型进一步增强,这是西太平洋副热带高压和低层水汽输送发展的鼎盛时期。中国南方至西太平洋上,南部为气旋式水汽异常,北部是强劲的反气旋式水汽输送异常(图 4h),标志着西太平洋副热带高压的北进,西太平洋副热带高压北进 2 个纬距,抵达 25°N ,大陆高压增强。从中南半岛、中国南海至朝鲜半岛、日本形成一

条强劲的水汽输送带。

7 月中旬(图 4i、j),降水峰值在云南、黄淮、河套地区和中国东北。西太平洋副热带高压西伸 0.5 个经距,黄淮和东北的水汽输送增强,华南、江南的水汽输送明显减弱。中国降水集中期的峰值区从南方转移到北方。值得注意的是,南方的云南省降水集中期峰值也出现在该时段。

7 月下旬(图 4k、l),大陆高压增强发展,中国东北的水汽输送减弱,降水集中期峰值在华北和四川盆地东部。

8 月上旬(图 4m、n),降水集中期峰值的最后阶段,降水峰值在河套地区和四川盆地东部。西太平洋副热带高压脊线位于 30°N ,主体东移,大陆高压继续发展,向中国东北的水汽输送增强,从南海至东北,形成贯穿中国东部的大范围水汽输送带。

新疆位于中国西北,属非季风区,降水量小,该地区水汽演变、量级和输送途径有别于中国中东部,篇幅所限,不再深入分析。

5 中国降水集中期降水的变化特点

根据图 2a、b 降水集中期开始和结束日期分布,得到中国降水集中期分区分布,以不同的站点标识(图 5)。总体上,降水集中期由标识符 1 区开始出现,渐次向 2、3、4 等序号扩展和推进。

图 6a—f 为 1—11 区降水集中期雨量的年变化曲线图(第 12 区图略),气候态为 1961—2013 年平均值。

图 5 中存在同标示区地理位置差异大的情况,例如标识 3、4 区,降水量和所受天气系统的影响也不同,为了分析不同区域降水集中期降水特点,表 2 结合图 5 在季风区自南向北选取 7 个区域、干旱半干旱区选取西藏和西北 2 个区域,两者之间选取河套地区、四川盆地、云南共 12 个区域,对这些区域降水集中期雨量和起止日期进行分析。

华南北部和江南的 1、2 区存在显著的年代际变化(图 6a),1968—1977 年为多雨期;1978—1992 年降水量持续少于气候态;1992—2002 年降水量持续多于气候态。1、2 区降水集中期 1992—2002 年平均的开始日期分别为 6 月 9 日和 14 日(图 7a),比气候态的 5 月 31 日和 6 月 7 日晚 9 和 7 d;1992—2002 年平均结束日期分别为 7 月 3 日和 7 日(图 7b),比气候态的 6 月 24 日和 29 日晚 9 和 8 d。这表明华南北部和江南 20 世纪 90 年代降水集中期开始和结束偏

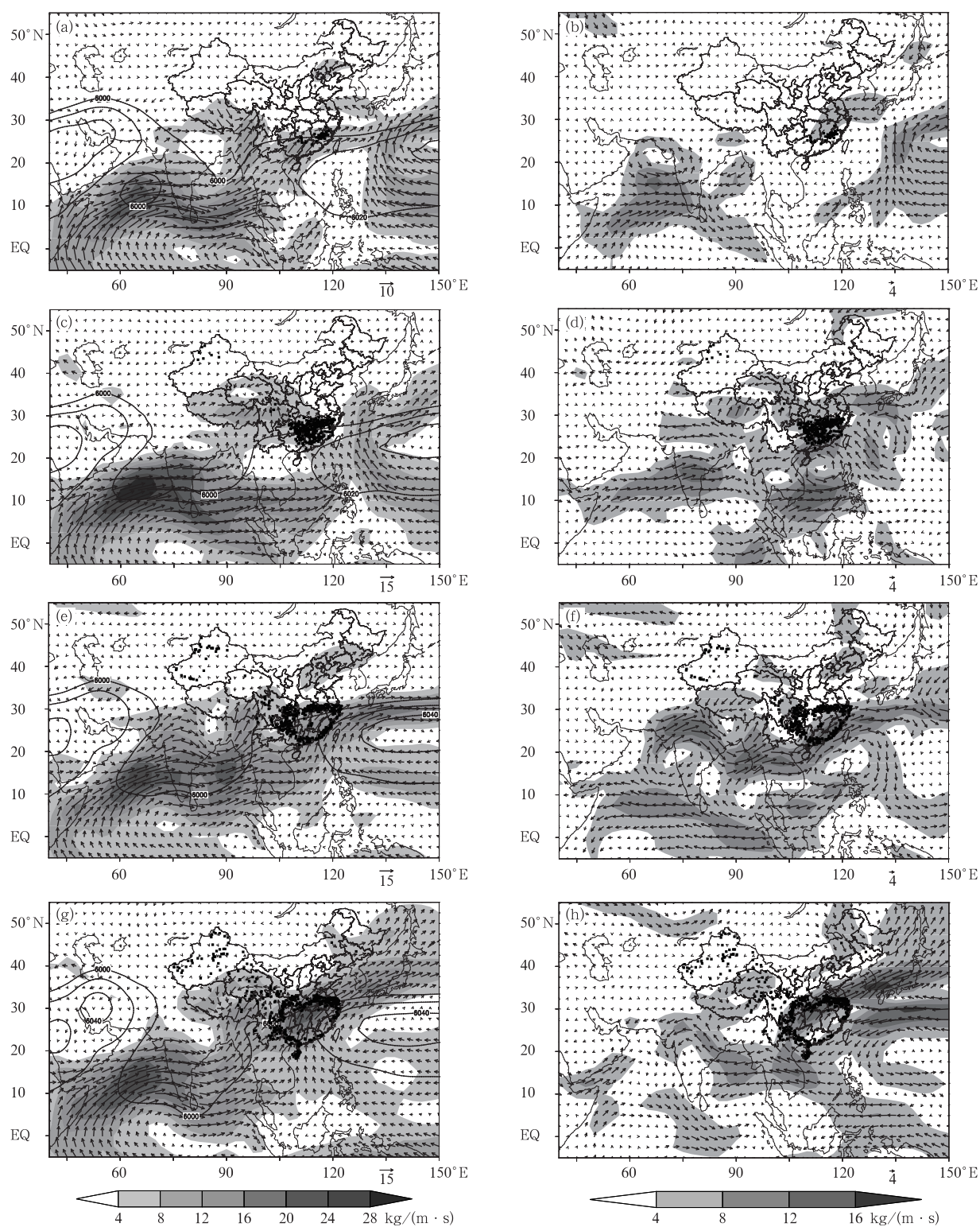
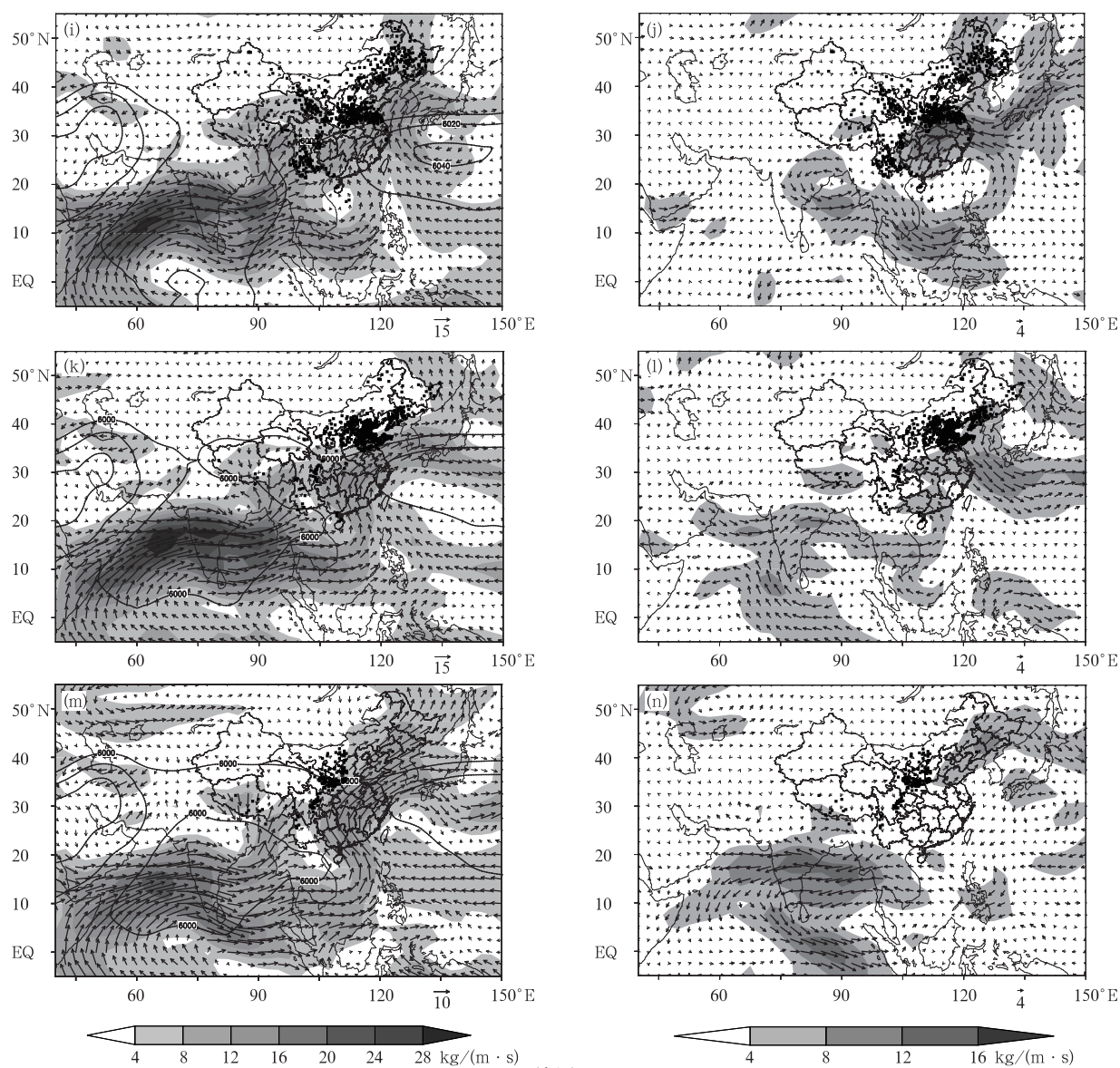


图4 中国降水峰值站点分布和相应的850 hPa水汽输送、500 hPa位势高度的气候场(a、c、e、g、i、k、m)和演变场(b、d、f、h、j、l、n)(a、b. 6月3—10日,c-l. 6月11日—7月31日的逐旬,m-n. 8月1—8日;阴影区大于4 kg/(m·s))

Fig. 4 Precipitation peaking stations in China distribution with the mean (a、c、e、g、i、k、m) and evolutionary fields (b、d、f、h、j、l、n) of 850 hPa water vapor transport and 500 hPa geopotential height shown

(a, b. 3—10 June; c-l. Each ten days from 11 June to 31 July; m-n. 1—8 August;
the areas in which the value exceeds 4 kg/(m·s))



续图 4

Continued

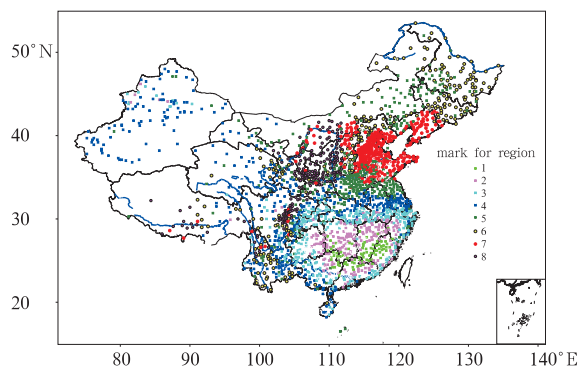


图 5 中国降水集中中期分区(黑圆点为省会、直辖市)

Fig. 5 Regional division of the precipitation concentration period in China

表 2 降水集中中期的区域选取条件

Table 2 The region specification of the precipitation concentration period

序号	区域	经纬度范围	分区标示符
1	江南北	无限制	1
2	江南	25°—30°N, 110°—120°E	2
3	江南北	29°—35°N, 110°E 以东	3
4	江淮	30°—35°N, 110°E 以东	4
5	黄淮	30°—36°N, 110°E 以东	5
6	华北	35°—45°N, 110°E 以东	7
7	云南	20°—28°N, 90°—105°E	6
8	四川盆地	28°—33°N, 100°—108°E	8
9	河套地区	33°—42°N, 100°—115°E	8
10	东北	42°N 以北, 115°E 以东	5, 6
11	西北	95°E 以西	4
12	西藏	27°—33°N, 95°E 以西	7, 8, 9

晚,雨量偏大。1、2 区位于长江中下游,降水集中期气候态起止时间早于长江上游,当其降水集中期雨量偏大、起止时间推迟时,长江上游降水集中期起止时间与气候态相比没有明显变化,这就造成长江上游来水与中下游降水汇合,极易造成长江中下游的洪涝灾害,这也是 20 世纪 90 年代长江中下游洪涝灾害频发的主要原因之一。2003 年以后,1、2 区的降水量回落到平均态附近,不再持续偏多偏晚。

江南北部的 3 区降水量在 1961—1999 年趋势性上升(6b),年际振荡的幅度大,1991—1999 年为多雨阶段,与 1、2 区的降水集中期开始偏晚、雨量偏多期大致相当,亦加重长江中下游的洪水压力。1999 年以后年际振幅变小,2000—2009 年为少雨阶段。4 区江淮降水量总体为缓慢上升的趋势,1980 和 1991 年为两个降水极多年,进入 21 世纪后,降水以偏多为主。

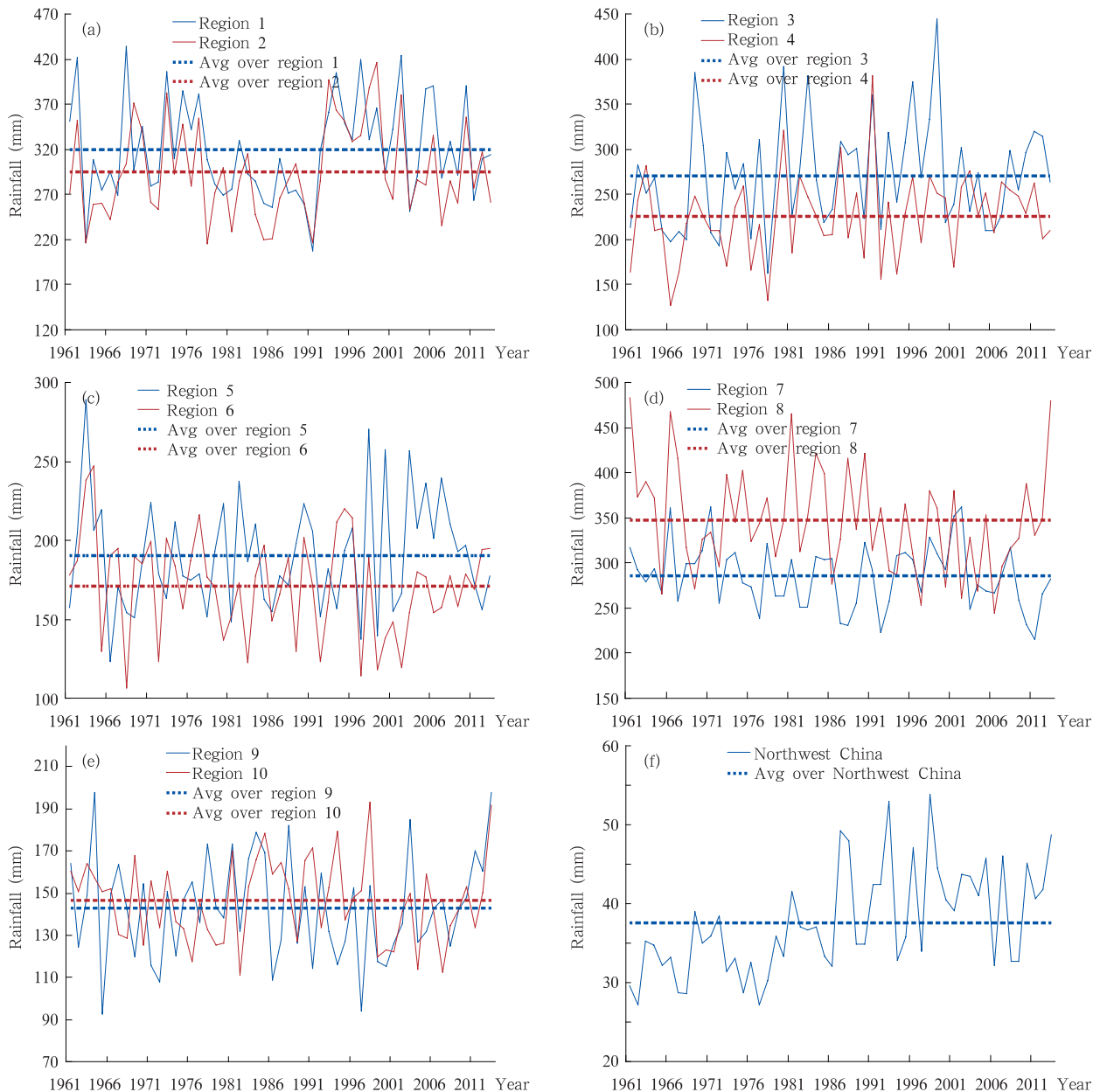


图 6 区域降水集中期雨量的时间序列
Fig. 6 Time series of the annual regional rainfall during the precipitation concentration periods

黄淮降水 1996 年之前表现为较平稳的 3—4 a 年际变化(图 6c), 1996—2001 年出现明显的 2 a 振荡, 1998 年的集中期雨量为 1961 年以来的次高值, 2003—2010 年集中期雨量持续显著偏多, 近两年回落到气候态以下。华北区的降水在 1996 年以前维持较稳定的年际变化, 1997—2011 年少雨为主, 近几年逐步回升。

云南降水集中期雨量 1994 年之前为较平稳的年际变化(图 6d), 1995—2002 年仅 1997 年偏少; 2003—2013 年仅 2009 年高于气候态, 2011 年仅 214.2 mm 雨量, 为 1961 年以来的极少值。四川盆地集中期雨量 2—3 a 的年际变化明显, 同时存在年代际变化: 1991 年之前为多雨阶段, 1991 年之后处

于少雨阶段, 2006 年仅 244.5 mm, 为 1961 年以来的最少值, 近两年尤其 2013 年出现明显回升。

9 区河套地区 1993—2010 年除 2003 年降水量较气候态明显偏多外, 总体处于少雨期(图 6e)。东北 20 世纪 80 年代初到 1998 年为多雨阶段, 1999—2011 年为少雨阶段。近两年, 河套、东北的降水集中期雨量均明显回升, 2013 年均达到 1961 年以来的历史次高值。

西北区集中期雨量有明显的年代际特点(图 6f), 20 世纪 80 年代中期之前少雨, 之后为多雨阶段。西藏(图略)集中期雨量变化总体分 3 段: 1980 年之前在气候态附近振荡, 20 世纪 80 年代以多雨为主, 20 世纪 90 年代至 2011 年为少雨期。

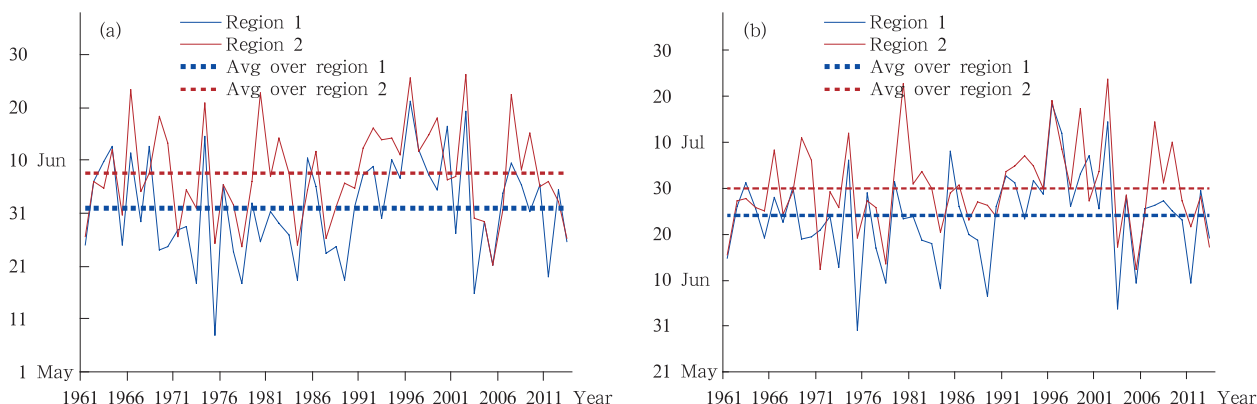


图 7 区域降水集中期开始日(a)和结束日(b)的时间序列
Fig. 7 Time series of the regional starting date and ending date
in the precipitation concentration periods

6 结论与讨论

定义每个站 5—8 月总降水量的 45% (河套地区、四川盆地中部为 5—9 月的 40%) 出现的最短时段为该站降水集中期。以相对降水量定义雨季是一种常用的方法, 但多以候和旬着眼, 降水量基数较小, 空间差异大。对整个中国找到一个统一的标准定义降水集中期较难, 文中采用补充定义方式也存在不够统一的问题, 从结果看, 文中降水集中期的定义基本能抓住中国各区域降水最强阶段时间演变、空间推移, 并能进行区域划分及对比分析。

对中国降水集中期雨量、起止时间等特点进行分析。结论如下:

(1) 中国降水集中期起止时间并非简单的南北、东西向推进, 主要分东西两个区域, 105°E 以东降水

集中期最早于 5 月下旬的江南、华南交界开始, 之后范围向四周扩展, 东北早于华北, 与黄淮相近; 最晚开始的是 7 月中下旬的河套地区、四川盆地。105°E 以西, 降水集中期最早在新疆博格勒地区和四川中部于 6 月上中旬开始, 之后分别向东、向西扩展, 西部大部分地区在 6 月下旬进入降水集中期; 最晚是 7 月中下旬的西藏南部。降水集中期结束时间的分布与开始时间大致相似。降水集中期天数 7—40 d 不等, 以西部沙漠戈壁地区的 7—10 d 最短, 西南地区的 30—40 d 最长。东部以华北和黄淮部分地区的 16—21 d 最短。

(2) 中国降水集中期低层水汽主要来源于西南支的索马里急流和东南支的西太平洋副热带高压西侧。峰值随索马里急流的水汽前沿抵达华南时开始出现。西太平洋副热带高压在索马里急流显著增强

后期,即6月中旬显著增强。6月下旬,西太平洋副热带高压形态由东北—西南转为东西向,西南和东南支水汽汇合。7月上旬水汽带明显北抬增强,影响中国南方大部分地区,及朝鲜半岛和日本,降水峰区从最初的20多个站扩展到整个江南华南。7月中旬以后,西太平洋副热带高压北进明显,大陆高压增强,海洋上的高压主体减弱,西南和东南支水汽汇合,形成贯穿中国东部的强大水汽输送带,降水峰值区主要在北方。

(3)从中国降水集中期分区图中选取12个区域,分析集中期降水变化。各区域有不同的年际、年代际特征。20世纪90年代末至2010年前后为中国少雨区域比较大的时期,集中期雨量总体低于气候态的区域和时段为:东北1999—2011年、华北1997—2011年、河套地区1993—2010年、四川盆地在1991—2009年趋势性减少、西藏1993—2009年;云南自2003年起,除2008年以外降水持续偏少,2011年为1961年以来的极少值年;江南北部2000—2009年。此外,20世纪80年代中国华南北部和江南大部分地区处于明显少雨期。

(4)长江中下游20世纪90年代洪涝灾害频发、梅雨带北移与区域降水集中期特征变化有关。气候态上,华南北部和江南大部分地区降水集中期的起止时间早于长江上游,当这两个区域90年代的持续多雨伴随集中期开始和结束日期的推迟时,长江上游降水集中期起止时间并没有明显变化,这使得长江中下游多雨期降水峰值易与长江上游来水峰值相遇,造成长江中下游洪水多发。2003年以后,华南北部和江南大部分地区集中期降水量减少,开始时间不再维持偏晚,该期间江淮、尤其是黄淮2003—2009年集中期降水持续偏多,体现了梅雨带北移,同时,长江中下游的洪涝也较90年代减弱。

参考文献

- 葛全胜,丁玲玲,郑景云等. 2011. 利用雨雪分寸重建福州前汛期雨季起始日期的方法研究. 地球科学进展, 26(11): 1200-1207. Ge Q S, Ding L L, Zheng J Y, et al. 2011. Research on methods of starting date of pre-summer rainy season reconstruction in Fuzhou derived from Yu-Xue-Fen-Cun records. Adv Earth Sci, 26(11): 1200-1207 (in Chinese)
- 郭其蕴,王继琴. 1981. 近三十年我国夏季风盛行期降水的分析. 地理学报, 36(2): 187-195. Guo Q Y, Wang J Q. 1981. Inter-annual variations of rain spell during predominant summer monsoon over China for recent thirty years. Acta Geogr Sinica, 36(2): 187-195 (in Chinese)
- 韩晖. 2005. 近50年中国台风暴雨研究[D]. 北京: 北京师范大学.
- Han H. 2005. A study on typhoon torrential rain over China during the last 50 years[D]. Beijing: Beijing Normal University (in Chinese)
- 胡娅敏,丁一汇. 2009. 2000年以来江淮梅雨带北移的可能成因分析. 气象, 35(12): 37-43. Hu Y M, Ding Y H. 2009. Possible reasons for northward shift of Meiyu Belt in Yangtze-Huaihe River region during 2000-2005. Meteor Mon, 35(12): 37-43 (in Chinese)
- 胡娅敏,丁一汇,廖菲. 2008. 江淮地区梅雨的新定义及其气候特征. 大气科学, 32(1): 101-112. Hu Y M, Ding Y H, Liao F. 2008. A study of updated definition and climatological characters of Meiyu season in the Yangtze-Huaihe region. Chinese J Atmos Sci, 32(1): 101-112 (in Chinese)
- 胡娅敏,丁一汇,廖菲. 2010. 近52年江淮梅雨的降水分型. 气象学报, 68(2): 235-247. Hu Y M, Ding Y H, Liao F. 2010. A classification of precipitation during the Yangtze-Huaihe Meiyu period for the recent 52 years. Acta Meteor Sinica, 68(2): 235-247 (in Chinese)
- 黄彩婷. 2012. 江西雨季结束日期的划分及气候学特征分析. 江西科学, 30(6): 775-778. Huang C T. 2012. The division and climatic characteristics of end-date of rainy season in Jiangxi Province. Jiangxi Sci, 30(6): 775-778 (in Chinese)
- 黄荣辉,徐予红,周连童. 1999. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势. 高原气象, 18(4): 465-476. Huang R H, Xu Y H, Zhou L T. 1999. The interdecadal variation of summer precipitation in China and the drought trend in North China. Plateau Meteor, 18(4): 465-476 (in Chinese)
- 黄荣辉,刘永,冯涛. 2013. 20世纪90年代末中国东部夏季降水和环流的年代际变化特征及其内动力成因. 科学通报, 58(8): 617-628. Huang R H, Liu Y, Feng T. 2013. Interdecadal change of summer precipitation over Eastern China around the late-1990s and associated circulation anomalies, internal dynamical causes. Chin Sci Bull, 58(12): 1339-1349
- 黄琰,张人禾,龚志强等. 2014. 中国雨季的一种客观定量划分. 气象学报, 72(6): 1186-1204. Huang Y, Zhang R H, Gong Z Q, et al. 2014. An objectively quantitative division for rainy seasons in China. Acta Meteor Sinica, 72(6): 1186-1204 (in Chinese)
- 金大超,管兆勇,蔡佳熙等. 2010. 近50年华东地区夏季异常降水空间分型及与其相联系的遥相关. 大气科学, 34(5): 947-961. Jin D C, Guan Z Y, Cai J X, et al. 2010. Anomalous summer rainfall patterns in East China and the related teleconnections over recent 50 years. Chinese J Atmos Sci, 34(5): 947-961 (in Chinese)
- 林之光. 1985. 中国气候. 上海: 上海科学技术出版社, 76-80. Lin Z G. 1985. China Climate. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 76-80 (in Chinese)

- 刘海文, 丁一汇. 2008. 华北汛期的起讫及其气候学分析. 应用气象学报, 19(6): 688-696. Liu H W, Ding Y H. 2008. Identification on the beginning date and end date of rainy season over North China and their climatology. J Appl Meteor Sci, 19(6): 688-696 (in Chinese)
- 吕军. 2012. 淮北雨季的确定及其气候特征研究[D]. 南京: 南京信息工程大学. Lü J. 2012. Definition for North Huaihe River Rainy Season and its climatic characteristics[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology (in Chinese)
- 毛文书, 王谦谦, 王永忠等. 2006. 近 50 a 江淮梅雨期暴雨的区域特征. 南京气象学院学报, 29(1): 33-40. Mao W S, Wang Q Q, Wang Y Z, et al. 2006. Regional features of the torrential-rain of the Meiyu period in the Changjiang-Huaihe region. J Nanjing Inst Meteor, 29(1): 33-40 (in Chinese)
- 毛文书, 王谦谦, 马慧等. 2008. 江淮梅雨的时空变化特征. 南京气象学院学报, 31(1): 116-122. Mao W S, Wang Q Q, Ma H, et al. 2008. Temporal evolution and spatial distribution characteristics of Meiyu in Changjiang-Huaihe River valley. J Nanjing Inst Meteor, 31(1): 116-122 (in Chinese)
- 苗长明, 郭品文, 丁一汇等. 2013. 江南南部初夏汛期降水特征 I: 降水集中期及其变化. 大气科学学报, 36(4): 399-408. Miao C M, Guo P W, Ding Y H, et al. 2013. Characteristics of the early summer rainy season precipitation in southern part of the south of Yangtze River valley I: Precipitation concentration period and its variation. Trans Atmos Sci, 36(4): 399-408 (in Chinese)
- 钱永甫, 王谦谦, 黄丹青. 2007. 江淮流域的旱涝研究. 大气科学, 31(6): 1279-1289. Qian Y F, Wang Q Q, Huang D Q. 2007. Studies of floods and droughts in the Yangtze-Huaihe River basin. Chinese J Atmos Sci, 31(6): 1279-1289 (in Chinese)
- 覃武, 孙照渤, 丁宝善等. 1994. 华南前汛期雨季开始期的降水及环流特征. 南京气象学院学报, 17(4): 455-461. Qin W, Sun Z B, Ding B S, et al. 1994. Precipitation and circulation features during late-spring to early summer flood rain in South China. J Nanjing Inst Meteor, 17(4): 455-461 (in Chinese)
- 覃军, 王盘兴. 2005. 中国东部夏季三个雨带降水的年代际变化及其与中高纬环流和海温的关系. 热带气象学报, 21(1): 63-71. Qin J, Wang P X. 2005. Interdecadal variations of monsoon rainbands over China and their relationships with ocean-atmospheric systems in mid-high latitudes. J Trop Meteor, 21(1): 63-71 (in Chinese)
- 强学民, 杨修群. 2008. 华南前汛期开始和结束日期的划分. 地球物理学报, 51(5): 1333-1345. Qiang X M, Yang X Q. 2008. Onset and end of the first rainy season in south China. Chinese J Geophys, 51(5): 1333-1345 (in Chinese)
- 孙力, 安刚, 丁立等. 2000. 中国东北地区夏季降水异常的气候分析. 气象学报, 58(1): 70-82. Sun L, An G, Ding L, et al. 2000. A climatic analysis of summer precipitation features and anomaly in northeast China. Acta Meteor Sinica, 58(1): 70-82 (in Chinese)
- 孙欣, 陈传雷, 卢娟. 2007. 辽宁雨季和多雨季标准的划分研究. 气象与环境学报, 23(5): 62-66. Sun X, Chen C L, Lu J. 2007. Division standards on rainy season and abundant rainy season in Liaoning Province. J Meteor Environ, 23(5): 62-66 (in Chinese)
- 涂长望, 黄士松. 1944. 中国夏季风之进退. 气象学报, 18(1): 1-20. Tu C W, Huang S S. 1944. The advance and retreat of summer monsoon in China. Acta Meteor Sinica, 18(1): 1-20 (in Chinese)
- 王恒康, 王明. 1982. 云南雨季的开始及其季风环流特征. 云南大学学报, (3): 11-24. Wang H K, Wang M. 1982. The characteristics of the rainy season onset date and monsoon circulation in Yunnan Province. J Yunnan Univ, (3): 11-24 (in Chinese)
- 王琳莉, 陈星. 2006. 一种新的汛期降水集中期划分方法. 长江流域资源与环境, 15(3): 352-355. Wang L L, Chen X. 2006. A new method for the partition of precipitation concentration period in flood season. Resour Environ Yangtze Basin, 15(3): 352-355 (in Chinese)
- 王学忠, 孙照渤, 谭言科等. 2006. 东北雨季的划分及其特征. 南京气象学院学报, 29(2): 203-208. Wang X Z, Sun Z B, Tan Y K, et al. 2006. Demarcation and features of Northeast China rainy season. J Nanjing Inst Meteor, 29(2): 203-208 (in Chinese)
- 王遵亲, 丁一汇. 2008. 中国雨季的气候学特征. 大气科学, 32(1): 1-13. Wang Z Y, Ding Y H. 2008. Climatic characteristics of rainy seasons in China. Chinese J Atmos Sci, 32(1): 1-13 (in Chinese)
- 吴志伟, 江志红, 何金海. 2006. 近 50 年华南前汛期降水、江淮梅雨和华北雨季旱涝特征对比分析. 大气科学, 30(3): 391-401. Wu Z W, Jiang Z H, He J H. 2006. The comparison analysis of flood and drought features among the first flood period in south China, Meiyu period in the Yangtze River and the Huaihe River valleys and rainy season in North China in the last 50 years. Chinese J Atmos Sci, 30(3): 391-401 (in Chinese)
- 徐国昌, 李梅芳, 张志银. 1983. 我国雨带的季节变化. 大气科学, 7(3): 312-318. Xu G C, Li M F, Zhang Z Y. 1983. Seasonal variation of the rain-belts in China. Chinese J Atmos Sci, 7(3): 312-318 (in Chinese)
- 徐群, 张艳霞. 2007. 近 52 年淮河流域的梅雨. 应用气象学报, 18(2): 147-157. Xu Q, Zhang Y X. 2007. Meiyu of the Huaihe basin in recent 52 years. J Appl Meteor Sci, 18(2): 147-157 (in Chinese)
- 晏红明, 李清泉, 孙丞虎等. 2013. 中国西南区域雨季开始和结束日期划分标准的研究. 大气科学, 37(5): 1111-1128. Yan H M, Li Q Q, Sun C H, et al. 2013. Criterion for determining the onset and end of the rainy season in Southwest China. Chinese J Atmos Sci, 37(5): 1111-1128 (in Chinese)
- 杨爱萍, 杜筱玲. 2011. 江西省降水集中期及其期间降水量的变化特征及趋势分析. 安徽农业科学, 39(4): 2048-2050. Yang A

- P, Du X L. 2011. The Characteristic and the trend of the concentrative period of precipitation and the precipitation in Jiangxi province. *J Anhui Agric Sci*, 39(4): 2048-2050 (in Chinese)
- 杨修群, 谢倩, 朱益民等. 2005. 华北降水年代际变化特征及相关的海气异常型. *地球物理学报*, 48(4): 789-797. Yang X Q, Xie Q, Zhu Y M, et al. 2005. Decadal-to-interdecadal variability of precipitation in North China and associated atmospheric and oceanic anomaly patterns. *Chinese J Geophys*, 48(4): 789-797 (in Chinese)
- 尤丽钰, 霍义强, 陈隆勋. 1981. 云南雨季开始和大气环流季节变化的关系. *云南大学学报*, (1): 94-110. You L Y, Huo Y Q, Chen L X. 1981. The relationship between the rainy season beginning in Yunnan Province and the seasonal variation of circulation. *J Yunnan Univ*, (1): 94-110 (in Chinese)
- 张家诚. 1991. 中国气候总论. 北京: 气象出版社, 140-141. Zhang J C. 1991. *China's Climate General*. Beijing: China Meteorological Press, 140-141 (in Chinese)
- 张录军, 钱永甫. 2004. 长江流域汛期降水集中程度和洪涝关系研究. *地球物理学报*, 47(4): 622-630. Zhang L J, Qian Y F. 2004. A study on the feature of precipitation concentration and its relation to flood-producing in the Yangtze River valley of China. *Chinese J Geophys*, 47(4): 622-630 (in Chinese)
- 张天宇, 程炳岩, 王记芳等. 2007. 华北雨季降水集中度和集中期的时空变化特征. *高原气象*, 26(4): 843-853. Zhang T Y, Cheng B Y, Wang J F, et al. 2007. Temporal and spatial change characteristics of Precipitation-Concentration Degree (PCD) and Precipitation-Concentration Period (PCP) over North China in rainy reason. *Plateau Meteor*, 26(4): 843-853 (in Chinese)
- 张运福, 胡春丽, 赵春雨等. 2009. 东北地区降水年内分配的不均匀性. *自然灾害学报*, 18(2): 89-94. Zhang Y F, Hu C L, Zhao C Y, et al. 2009. Interannual inhomogeneity characteristics of precipitation in Northeast China. *J Nat Dis*, 18(2): 89-94 (in Chinese)
- 赵汉光. 1994. 华北的雨季. *气象*, 20(6): 3-8. Zhao H G. 1994. Rainy season in North China, 20(6):3-8 (in Chinese)
- 郑彬, 梁建茵, 林爱兰等. 2006. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水 I. 划分日期的确定. *大气科学*, 30(6): 1207-1216. Zheng B, Liang J Y, Lin A L, et al. Frontal rain and summer monsoon rain during pre-rainy season in South China. Part I: Determination of the division dates. *Chinese J Atmos Sci*, 30(6): 1207-1216 (in Chinese)
- 邹立尧, 丁一汇, 王冀. 2013. 东北强降水时空变化的特征和原因分析. *自然资源学报*, 28(1): 137-147. Zou L Y, Ding Y H, Wang J. 2013. Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation long-term changes in Northeast China and causation Analysis. *J Nat Resour*, 28(1): 137-147 (in Chinese)
- 竺可桢. 1934. 东南季风与中国之雨量. *地理学报*, 1(1): 1-27. Chu C. 1934. The enigma of southeast monsoon in China. *Acta Geogr Sinica*, 1(1): 1-27 (in Chinese)
- 竺夏英, 何金海, 吴志伟. 2007. 江淮梅雨期降水经向非均匀分布及异常年特征分析. *科学通报*, 52(8): 951-957. Zhu X Y, He J H, Wu Z W. 2007. Meridional seesaw-like distribution of the Meiyu rainfall over the Changjiang-Huaihe River valley and characteristics in the anomalous climate years. *Chin Sci Bull*, 52(17): 2420-2428
- Jin D C, Guan Z Y, Cai J X, et al. 2015. Interannual variations of regional summer precipitation in mainland China and their possible relationships with different teleconnections in the past five decades. *J Meteor Soc Japan*, 93(2): 265-283
- Lau K M, Yang S. 1996. Seasonal variation, abrupt transition, and intraseasonal variability associated with the Asian summer monsoon in the GLA GCM. *J Climate*, 9(5): 965-985
- Samel A N, Wang S W, Wang W C. 1995. A comparison between observed and GCM simulated summer monsoon characteristics over China. *J Climate*, 8(6): 1690-1696
- Samel A N, Wang W C, Liang X Z. 1999. The monsoon rainband over China and relationships with the Eurasian circulation. *J Climate*, 12(1): 115-131
- Si D, Ding Y H, Liu Y J. 2009. Decadal northward shift of the Meiyu belt and the possible cause. *Chin Sci Bull*, 54(24): 4742-4748
- Wang B, Lin H. 2002. Rainy season of the Asian-Pacific summer monsoon. *J Climate*, 15(4): 386-398